

Őshonos lombos elegyfafajok aszálytoleranciájának értékelése dendrokronológiai módszerekkel

Móricz Norbert¹, Mészáros Ilona², Kern Zoltán³, Illés Gábor Zoltán¹, Garamszegi Balázs⁴,
Eötvös Csaba Béla¹, Berki Imre⁵, Németh Tamás Márton¹

Az aszály az erdők produktivitásának és szén-dioxid-megkötési képességének hosszú távú csökkenését idézheti elő. Emiatt egyre inkább az érdeklődés homlokterébe kerülnek azok a szárazságtűrő fafajok, melyek jelenleg csak elegyfafajok, azonban hosszú távon hozzájárulhatnak az erdősültség fenntartásához az aszályoknak fokozottan kitett régiókban. Számszerűsítve, hogy az elegy fafajok évgyűrű-növekedése hogyan reagál az aszályokra, pontosabb modelleket és előrejelzéseket lehet kidolgozni a fák jövőbeni vitalitásváltozásairól. Mostani munkánk közreadása ehhez járul hozzá, négy elegyfafaj és egy referencia főfafaj aszálytoleranciáját hasonlítva össze.

A klímaváltozás következtében Magyarországon a 21. század folyamán a hőmérséklet további gyors emelkedésére, valamint a nyári csapadék csökkenésére számíthatunk (Kis et al., 2020). Ezen folyamatok főként az általános tendenciák mellett gyakoribbá váló aszályok során fellépő vízhiány formájában jelentősen befolyásolhatják erdeink növekedését és egészségi állapotát.

Az erdei ökoszisztémák stabilitása a változó éghajlati viszonyok mellett nagy mértékben függ az egyes fafajok klimatikus alkalmazkodási képességétől. Ez a kérdés a klímaváltozás kapcsán válik aktuálissá, hiszen az előre jelzett hidroklimatikus változások akár egyes régiók erdősültségét is veszélyeztethetik Közép-Európában (Mauri et al., 2022).

Kutatásunkban az aszályok hatását értékeltük kiválasztott elegyfafajok átmerőnövekedésére nézve (*mezei juhar*, *virágos kőris*, *molyhos tölgy* és *ezüsthárs*), összehasonlítva a csertölgy jellemző válaszaival. A munka alapján részletes tanulmány jelent meg angol nyelven a *Frontiers in Forests and Global Change* című nemzetközi folyóiratban (Móricz et al., 2025).

Módszer

A kutatás során öt Magyarországon honos fafajt vizsgáltunk: mezei juhar (*Acer campestre* L.), virágos kőris (*Fraxinus ornus* L.), molyhos tölgy (*Quercus pubescens* Willd.), ezüsthárs (*Tilia tomentosa* Moench.), csertölgy (*Quercus cerris* L.), utóbbi mint referencia főfafaj.

Az elemzésekhez a következő tájegységekben választottunk ki mintaterületeket: Keszthelyi-hegység, Zselic, Észak-Somogy dombvidék, Vértes és Gödöllői-dombság.

A mintaterületeken az átlagos éves csapadékmennyiség 560 mm (Gödöllői-dombság) és 700 mm (Zselic) között változik, a jellemző genetikai talajtípusok a barnaföld, a redzina és az agyagbemosódásos barna erdőtalaj. Minden

¹ SoE Erdészeti Tudományos Intézet

² DE-TTK, Biológiai és Ökológiai Intézet

³ HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Földtani és Geokémiai Intézet

⁴ BOKU, Institut für Waldökologie

⁵ Független kutató



Terület	Fafaj	Elegyarány (%) ^a	Állomány magasság (m) ^b	D _{1,3} (cm) ^b
Gödöllő	<i>A. campestre</i>	17	23	27±4,5
	<i>F. ornus</i>	16		29±4,9
	<i>Q. cerris</i>	38		32±3,8
	<i>Q. pubescens</i>	10		30±5,3
Vértess	<i>A. campestre</i>	18	22	22±5,4
	<i>F. ornus</i>	32		36±8,4
	<i>Q. cerris</i>	50		35±4,7
	<i>Q. pubescens</i>	5		33±6,0
Szántód	<i>Q. cerris</i>	15	15	32±3,5
	<i>T. tomentosa</i>	9		29±4,8
Keszthelyi-hegység	<i>F. ornus</i>	4	11	19±3,4
	<i>Q. cerris</i>	73		23±3,4
	<i>Q. pubescens</i>	5		22±3,6
Zselic	<i>A. campestre</i>	4	27	25±4,7
	<i>Q. cerris</i>	48		38±5,2
	<i>T. tomentosa</i>	18		41±6,6

1. táblázat *A fontosabb állományi jellemzők, D_{1,3}: átlagos mellmagassági átmérő ± szórás*
 Forrás: ^a Nemzeti Erdészeti Adatbázis, 2021; ^b helyszíni mérés

egy-egy mintaterületen egy-egy 42 és 82 év közötti elegyes állományt jelöltünk ki (1. táblázat).

A klimatikus adatokat a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Non-profit Zrt. honlapjáról töltöttük le az 1971 és 2021 közötti időszakra (<https://odp.met.hu/>). A hőmérséklet- és csapadékadatokból különböző indexeket képeztünk, úgymint az erdészeti aszályossági index (FAI, Führer et al., 2011) és a havi vízmérleg (csapadék és potenciális párolgás különbsége, WB). A talajok vízkapacitása alapján szárazságstresszindexet is becsültünk (Granier et al., 1999).

2022 őszén minden állományban fajonként 24 db fából mellmagasságban (1,3 m) egy-egy növedékcsoport vettünk Pressler-fúróval. A fák kiválasztása során lehetőség szerint elkerültük az erdőszegélyeket, valamint a látható erdészeti beavatkozások környezetét.

A növedékcsoportokat tartókba ragasztottuk, csiszoltuk és szkenneltük. Az egyes évgyűrűket digitálisan mértük, és meghatároztuk a növedékesi időszakhoz tartozó naptári évet. Az évgyűrű adatsorokból a kor és az átmérőnövedékes hatását a dendrokronológiában elterjedt alkalmazott standardizálással szűrtük ki, annak érdekében, hogy a klíma és a növedékes összefüggései feltárhatóak legyenek.

Az éghajlati változók és a fák éves növedékesének összefüggéseit korrelációs analízissel vizsgáltuk. Ezekhez az elemzésekhez a meteorológiai adato-

kat a növedékes megelőző év júniusától az aktuális év szeptemberéig, havi, illetve évszakos léptékekben dolgoztuk fel. A számolt évszakos vízmérlegeket mozgóablakos módszerrel elemeztük, és vizsgáltuk a klíma-növedékes összefüggések időbeli változásait az elmúlt 50 év során.

Az aszályos éveket a megelőző év szeptembere és az adott év augusztusa közötti időszak átlagos vízmérlege alapján jelöltük ki. A kiválasztott aszályesemények növedékesre gyakorolt hatását különböző növedékesi indexek segítségével értékeltük (Lloret et al., 2011).

Ezek az indexek azt mutatják meg, hogy a fák mennyire képesek ellenállni az aszálynak (ellenállás), milyen gyorsan tudnak visszatérni az aszályt meg-

előző növedékes mértékhez (felépülés), és mennyire képesek elérni az aszályt megelőző növedékesi szintet (rugalmasság). Az indexek számolása során a fák átlagos növedékesét az aszályok előtti és utáni 5 éves időszakra számoltuk, és hegedű-diagramon ábrázoltuk.

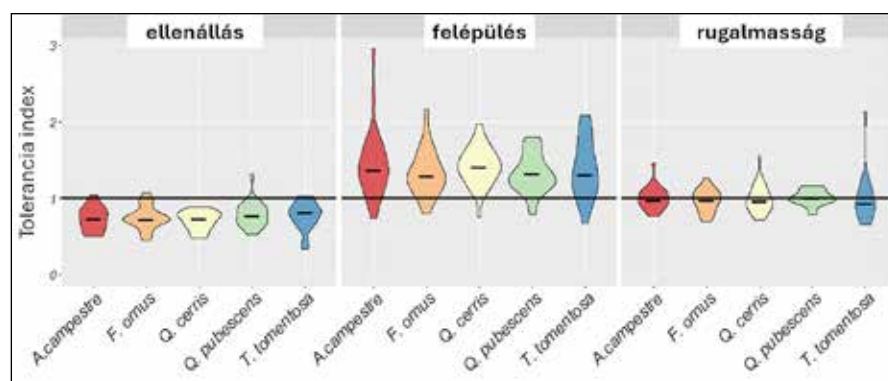
Eredmények

A havi csapadékmennyiség és az évgyűrű-részesség közötti korrelációs együttható értékei az adott év májusában, júniusában és júliusában, valamint az előző év szeptemberében voltak a legmagasabbak. A növedékesnek a hőmérséklettel való negatív korrelációját főként az adott év május-augusztus közötti időszakban figyeltük meg.

A származtatott klímaindexek erős korrelációt mutattak a radiális növedékesével, a FAI átlagos korrelációs együtthatója $r=0,45$, míg a szárazságstresszindex korrelációs átlaga $r=0,55$ volt az összes populációt figyelembe véve.

A növedékesi év nyári vízmérlege mellett az adott év tavaszi és az előző év őszi vízmérlegei szintén jelentősen befolyásolták a fák növedékesét. A legtöbb populációban a növedékes a legmagasabb korrelációt ($r=0,6$) a vízmérleg változók közül az előző év szeptembere és a növedékesi év augusztusa közötti 12 hónapos periódussal mutatta.

A legtöbb mintahelyen az évgyűrű kronológiák és az évszakos vízmérleg közötti korrelációk időbeli változása a téli vízmérleg erősödő pozitív hatását mutatta a növedékesre nézve. Ez a tendencia azonban a mezei juhar és az ezüsthárs esetében nem volt megfigyelhető. Általánosságban elmondható, hogy a nyári vízmérleg minden populáció esetében kulcsszerepet játszott.



1. ábra Az „ellenállás”, „felépülés” és „rugalmasság” növedékesi indexek alakulása a vizsgált fajok és aszályesemények kapcsán. A diagramok az aszályindexek eloszlását ábrázolják sűrűséggörbék segítségével. Az egyes görbék szélessége megfelel az adatpontok hozzávetőleges gyakoriságának az egyes régiókban. A vízszintes fekete vonalak a medián értékeket jelölik

A vizsgált időszakban a különböző helyszíneken 5–7 aszályos évet azonosítottunk (1983, 1990, 1992–1993, 2000–2003, 2007, 2011–2012 és 2017). Az aszályeseményekre a fajok hasonló ellenállási válaszreakcióját figyeltük meg, a növekedésük visszaesése nem tért el jelentősen egymástól (1. ábra).

A vizsgált fajok közül a csertölgy felépülése volt a legmagasabb, míg gyenge regenerálódás jellemezte a molyhos tölgy és a virágos kőris fajokat. A szórt likacsú fajok (mezei juhar és ezüsthárs) növekedésének regenerálódására nagyobb változékonyság volt jellemző, összevetve a három gyűrűs likacsú (virágos kőris, csertölgy és molyhos tölgy) fajokkal.

A vizsgált fajok növekedési rugalmassága hasonló volt (közel az 1-hez), szignifikánsan nem különbözött. Azonban az indexértékek eloszlási mintázatai alapján az ezüsthárs aszályokat követő visszafogottabb felépülése, illetve kisebb rugalmassága is megállapítható.

Megvitatás és következtetések

A vizsgált időszakban a fajok évgyűrű-növekedését a vízmérleg erőteljesebben befolyásolta, mint önmagában a csapadék vagy a hőmérséklet. Ez azt jelzi, hogy az elérhető talajnedvesség a légköri párolgási kényszerrel együtt szabályozza a levelek és gyökerek nedvességi állapotát, és ezáltal a kambium növekedési aktivitását.

Az évszakok közül a nyári vízmérlegnek volt a legnagyobb hatása a növekedésre, ami összhangban van számos Közép-Európában végzett tanulmánnyal (Móricz et al., 2021, Mészáros et al., 2022, Garamszegi et al., 2025). A megelőző év szeptemberi csapadéka minden faj esetében jelentősen befolyásolta az adott évi növekedést, ugyanakkor a megelőző évi nyár nem gyakorolt számottevő hatást a növekedésre.

A Keszthelyi-hegységben a tölgyfajok növekedése a legerősebb korrelációt a májusi és a júniusi vízháztartással mutatta. Ez arra utal, hogy ezen a helyszínen a talaj gyenge víztartó kapacitása jelentősen hozzájárult a növekedést korlátozó nyári feltételekhez.

Eredményeink azt mutatják, hogy a száraz termőhelyen lévő populációk érzékenyebbek az adott évi vízellátottságra, mint a nedvesebb helyszíneken élő populációk.

Az ezredfordulót követően erősödött pozitív korrelációt figyeltünk meg a radiális növekedés és a téli vízmérleg között. Ez a trend hangsúlyosabb volt a

mélyen gyökerező tölgyfajoknál, mint a sekélyebben gyökerező fajoknál. Ennek a változásnak a valószínűsíthető oka, hogy az elmúlt évtizedekben a vízhiány erősödött, valamint a csapadék eloszlásában is kedvezőtlen változások történtek. Következésképpen a vizsgált helyszíneken élő fajok egyre inkább a mélyebb talajrétegekben lévő nedvességre, illetve annak téli utánpótlására támaszkodtak.

A mezei juhar, a virágos kőris és az ezüsthárs nagyobb változékonyságot mutatott az aszályokhoz kapcsolódó növekedési indexek terén (1. ábra), különösen a felépülés és a rugalmasság terén, szemben a két vizsgált tölgyfajjal.

A vizsgált fajok közül a mezei juhar volt a legérzékenyebb az időjárás változásaira. A virágos kőris valamivel kevésbé volt érzékeny az aszályokra, de ennek a fajnak a téli vízmérlegtől való függése erősödött az elmúlt két évtizedben. Az ezüsthárs a mezei juharhoz és a virágos kőrishez hasonló mértékű aszályérzékenységet mutatott, ugyanakkor az aszályok utáni gyengébb regenerálódása és kisebb rugalmassága nagyobb mértékű sérülékenységre utal (Kasper et al., 2022, Leuschner et al., 2024).

A vizsgált tölgyfajok nagy rugalmasságot mutattak az aszályokkal szemben. Továbbá az elmúlt évtizedekben megfigyelhető stabil növekedésük, valamint az aszályokra adott mérsékelt reakciójuk mind azt erősíti, hogy ezek a tölgyfajok továbbra is megbízható alapjai lehetnek a jövőbeni erdőállományoknak még szárazabb klimatikus viszonyok mellett is (Leuschner et al., 2024). A megfigyelt különbségek ellenére ugyanakkor minden vizsgált elegyfaj alkalmas lehet a jövőbeni erdőállományok diverzitásának növelésére.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki a helyi állami erdőgazdaságoknak (SEFAG Zrt., Szántódi és Zselici Erdészet; Bakonyerdő Zrt., Keszthelyi Erdészet; Vértéserdő Zrt., Dél-vertési Erdészet; Pilisi Parkerdő Zrt., Gödöllői Erdészet) a terepen nyújtott segítségükért. Köszönet illeti továbbá az Erdészeti Tudományos Intézet laboratóriumát a talajvizsgálatért.

Az FK 142468 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, az FK_22 „OTKA” Fiatal kutatói kiválósági program finanszírozásában valósult meg. A kutatást a Magyar Tudományos

Akadémia Bolyai János Kutatói Ösztöndíja támogatta (száma: BO/00291/22/4).

Felhasznált szakirodalom

- Führer E. et al. (2011): Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. – *Időjárás* 115:205–216.
- Garamszegi B. et al. (2025): Scaling dendroecological studies on oaks combining different sampling schemes along a regional climatic gradient. – *Agricultural and Forest Meteorology* 368, 110554.
- Granier A. et al. (1999): A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. – *Ecological Modelling* 116 (2–3): 269–283.
- Kasper J. et al. (2022): Winners and losers of climate warming: Declining growth in *Fagus* and *Tilia* vs. stable growth in three *Quercus* species in the natural beech-oak forest ecotone (western Romania). *Forest Ecology and Management* 506: 119892.
- Kis A. et al. (2020): Multi-scenario and multi-model ensemble of regional climate change projections for the plain areas of the Pannonian Basin. – *Időjárás* 124: 157–190.
- Leuschner C. et al. (2024): A multi-criteria drought resistance assessment of temperate *Acer*, *Carpinus*, *Fraxinus*, *Quercus* and *Tilia* species. – *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 62: 125777.
- Lloret F., Keeling E.G., Sala A. (2011): Components of tree resilience: Effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. – *Oikos* 120(12):1909–1920.
- Mauri A. et al. (2022): EU-Trees4F, a dataset on the future distribution of European tree species. – *Scientific data*, 9(1), 37.
- Mészáros I. et al. (2022): Long-term radial growth and climate-growth relationships of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus cerris* L. in a xeric low elevation site from Hungary. – *Dendrochronologia* 76: 126014.
- Móricz N. et al. (2021): Different drought sensitivity traits of young sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and Turkey oak (*Quercus cerris* L.) stands along a precipitation gradient in Hungary. – *Forest Ecology and Management* 492: 119165.
- Móricz N. et al. (2025): Evaluating the drought tolerance of five native broadleaf tree species using dendroecological analysis in East Central Europe. – *Frontiers in Forests and Global Change* 8, in press.
- Illusztrációk: osogovonature.com